



JC542 U.S. PTO
09/611115



Bescheinigung

Die DANFOSS A/S in Nordborg/Dänemark hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Regelung einer Fördergröße einer Pumpe"

am 12. Juli 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol F 04 B 49/06 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 14. Oktober 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 199 31 961.8

Weihmayr

DA1196

D A N F O S S A/S
DK-6430 Nordborg

Verfahren zur Regelung einer Fördergröße einer Pumpe

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Fördergröße einer Pumpe, die durch einen mit Wechselstrom veränderbarer Frequenz, insbesondere über einen Umrichter, betriebenen elektrischen Motor angetrieben wird, wobei als
5 Istwert für die Fördergröße die Eingangsleistung des Motors gemessen und durch Vergleich mit einem Sollwert geregelt wird.

Bei der Fördergröße kann es sich um den Durchfluß oder den
10 Druck der Pumpe handeln, der jedoch nicht direkt gemessen wird.

Ein Verfahren dieser Art ist aus der WO 98/04835 bekannt. Dort ist der die Pumpe antreibender Elektromotor ein
15 Induktionsmotor (Asynchronmotor), der über einen Frequenzwandler in Form eines Umrichters als Stellglied angetrieben wird. Um ohne Fühler zur Messung der Fördergröße auszukommen, wird die Ausgangsleistung oder der Ausgangsstrom des Umrichters bzw. die Eingangsleistung oder
20 der Eingangsstrom des Motors gemessen und mittels einer in

einem Speicher abgelegten Tabelle zusammengehöriger Stromstärken (bzw. Leistungen) und Ausgangsfrequenzen des Umrichters die Ausgangsfrequenz so geändert, daß sie mit dem gewünschten Arbeitspunkt übereinstimmt. Hierbei wird
5 davon ausgegangen, daß zwischen dem gemessenen Strom und der Drehzahl des Motors ein eindeutiger Zusammenhang besteht: Wenn der Eingangsstrom des Motors ansteigt, bedeutet dies auch eine Zunahme des Durchflusses und damit einen Druckabfall im an die Pumpe angeschlossenen Rohrlei-
10 tungssystem. Bei einer Umwälzpumpe, z.B. im Wasserkreislauf einer Heizungsanlage, ist jedoch ein konstanter Druck erwünscht. Die Ausgangsfrequenz des Umrichters und damit die Drehzahl des Motors wird deshalb durch die Regeleinrichtung erhöht, wenn der Eingangsstrom des Motors an-
15 steigt.

WO 98/04835 befaßt sich im wesentlichen mit der Messung des elektrischen Stroms, weist jedoch auch darauf hin, daß die elektrische Leistung anstelle des Stroms als Meßgröße
20 dienen kann, ohne hierfür etwaige Vorteile zu nennen.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß erhebliche Regelabweichungen bei der Fördergröße auftreten können, wenn lediglich der Strom als Maß für die Fördergröße gemessen wird. Eine
25 Ursache dafür sind Schwankungen der Betriebsspannung, insbesondere wenn es sich um die Netzspannung handelt. Wenn die Betriebsspannung beispielsweise um 10% abnimmt, sinkt auch die Eingangsleistung des Motors um 10%. Die Regeleinrichtung erfaßt diese Änderung nicht, wenn nur der Strom
30 gemessen wird. Die Folge ist, daß die Drehzahl des Motors abfällt und die gewünschte Fördergröße der Pumpe nicht eingehalten wird. Wird statt dessen als Maß für die Fördergröße die elektrische Eingangsleistung des Motors gemessen, dann werden auch Änderungen der Betriebsspannung berück-
35 sichtigt.

Obwohl Änderungen der Betriebsspannung als Fehlerquelle der Regelung der Fördergröße bei Messung der elektrischen Eingangsleistung des Motors damit weitgehend ausgeschlossen sind, hat sich gezeigt, daß der Arbeitspunkt des Elektromotors und damit der Pumpe trotzdem nach einiger Zeit vom gewünschten Arbeitspunkt abweicht. Die Folge können erhebliche Abweichungen vom gewünschten Druck sein.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art, ohne direkte Messung des Drucks oder Durchflusses der Pumpe, das heißt ohne einen Druck- oder Durchflußfühler zu verwenden, jedoch die Eingangsleistung des elektrischen Motors als Regelgröße heranzuziehen, dahingehend zu verbessern, daß der gewünschte Arbeitspunkt des Motors und damit der Pumpe stabil bleibt.

Erfindungsgemäß ist diese Aufgabe dadurch gelöst, daß bei einer Änderung der Temperatur im Motor eine entsprechende Kompensationsgröße bei der Regelung im Sinne einer Korrektur der Eingangsleistung berücksichtigt wird.

Diese Lösung basiert auf der Erkenntnis, daß die Änderung des Arbeitspunktes die Folge einer Änderung des ohmschen Widerstands im Ständer und Läufer des Motors ist. Diese Änderung ist wiederum vorwiegend die Folge einer Erwärmung des Motors durch elektrische Verluste oder Konvektionswärme, zum Beispiel durch heißes Wasser, das durch die Pumpe gefördert wird. Dadurch erhöhen sich die elektrischen Verluste im Motor und damit der Schlupf, so daß die Ausgangsleistung des Motors, seine Drehzahl und damit auch der Druck der Pumpe abnehmen. Die Erwärmung des Motors hat somit zwei Wirkungen: Erstens werden die Verluste im Läufer erhöht, wodurch weniger Leistung an die Welle abgegeben wird. Dieser Leistungsverlust wird bei einer Regelung der Eingangsleistung des Motors, bei der nur die Eingangsleistung gemessen wird, nicht festgestellt. Somit würde bei

einer derartigen Regelung der Leistungsverlust im Läufer nicht ausgeglichen. Zweitens hat die Erwärmung des Motors zur Folge, daß sein Schlupf ansteigt. Dies bedeutet, daß weniger Leistung an den Läufer übertragen wird. Die Ein-
5 gangsleistungsregelung interpretiert das fälschlich als verminderten Leistungsbedarf und regelt die Betriebsfrequenz des Motors herab. Der Arbeitspunkt der Pumpe weicht damit vom gewünschten Arbeitspunkt ab. Durch die Erfindung wird der temperaturabhängige Druckabfall ausgeglichen, ohne
10 daß der Druck unmittelbar gemessen wird.

Auf besonders einfache Weise kann dies dadurch erreicht werden, daß die Kompensationsgröße aus einer empirisch erstellten, gespeicherten Tabelle zusammengehöriger Ein-
15 gangsleistungsänderungs- und Temperaturwerte des Motors in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur des Motors abgerufen wird.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß eine Tabelle
20 empirisch erstellt und gespeichert wird, die die Druckänderung der Pumpe bei verschiedenen Eingangsleistungen des Motors zum Zeitpunkt des Erreichens der Betriebstemperatur des Motors enthält, und daß aus der Tabelle eine Druckänderung in Abhängigkeit vom Istwert der Eingangsleistung als
25 Kompensationsgröße bei der Regelung abgerufen wird.

Eine etwas genauere Lösung besteht darin, daß aus der Kompensationsgröße und einer Frequenzsteuergröße ein angenäherter Drehzahl-Istwert berechnet wird, der zusammen
30 mit einem Drucksollwert zum Abrufen eines zugehörigen Eingangsleistungssollwerts aus einer gespeicherten, empirisch erstellten Tabelle zusammengehöriger Werte von Eingangsleistung und Drehzahl des Motors benutzt wird.

35 Eine andere Lösung der gestellten Aufgabe besteht erfindungsgemäß darin, daß zusammengehörige Werte der

Eingangsleistung und der Drehzahl des Motors bei vorgegebenem Drucksollwert empirisch ermittelt und als Tabelle gespeichert werden und daß während des Betriebs ein zu einer gemessenen oder angenähert berechneten
5 Drehzahl des Motors gehöriger Wert der Eingangsleistung als Sollwert zur Regelung der Eingangsleistung aus der Tabelle abgerufen wird. Bei dieser Lösung kommt man ohne eine vorherige Messung der Abhängigkeit des Pumpendrucks von der Motortemperatur aus, indem die Drehzahl
10 des Motors beziehungsweise der Pumpe direkt gemessen oder angenähert berechnet und zur Kompensation einer temperaturabhängigen Änderung der Ausgangsleistung des Motors herangezogen wird.

15 Die Erfindung und ihre Weiterbildungen werden nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen von Beispielen näher beschrieben. Es zeigen:

20 Fig. 1 die Abhängigkeit des Drucks einer durch einen Elektromotor angetriebenen Pumpe von der Zeit bei einer Regelung einer Fördergröße der Pumpe, wenn als Maß für den Istwert der Fördergröße die Eingangsleistung des Motors ermittelt, Änderungen des Drucks bei einer Änderung der Temperatur des Motors jedoch nicht
25 berücksichtigt werden,

30 Fig. 2 die Abhängigkeit der Eingangsleistung des Motors von der Zeit, wobei die Eingangsleistung bei einer Änderung der Temperatur des Motors abfällt und dadurch den in Fig. 1 dargestellten Druckabfall verursacht,

35 Fig. 3 Kennlinien der Abhängigkeit der Eingangsleistung eines eine Pumpe antreibenden Asynchronmotors von der Frequenz seiner Betriebs-

spannung für unterschiedliche Drucksollwerte H_{soll} als Parameter,

5 Fig. 4 ein Blockschaltbild zur Erläuterung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens,

10 Fig. 5 ein Blockschaltbild zur Erläuterung eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens,

15 Fig. 6 ein Blockschaltbild zur Erläuterung eines dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 7 ein Blockschaltbild zur Erläuterung eines vierten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

20 Zunächst sei anhand der Fig. 1 bis 3 die dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrunde liegende Aufgabe näher erläutert.

Die Fig. 1 bis 3 stellen empirisch ermittelte Diagramme
25 dar. Die Diagramme nach den Fig. 1 und 2 stellen bei einem herkömmlichen Regelverfahren, bei dem eine Fördergröße - der Druck oder Durchfluß - einer durch einen elektrischen Motor angetriebenen Pumpe geregelt, die Fördergröße jedoch nicht direkt gemessen wird, den
30 Druck (Fig. 1) und die an den Motor abgegebene Leistung (Fig. 2) in Abhängigkeit von der Zeit t dar. Im bekannten Falle wird als Maß für den Istwert der Fördergröße die Eingangsleistung P , speziell die Wirkleistung und nicht die Schein- oder Blindleistung, des Motors gemessen.
35 Bei dem untersuchten Motor handelte es sich um einen Asynchronmotor (auch "Induktionsmotor" genannt) mit

einer Nennleistung von 1,5 kW, dessen Drehzahl durch Änderung der Frequenz seiner Betriebsspannung mittels eines Umrichters gesteuert wurde.

5 Nach Fig. 1 nahm der Druck H im Mittel von einem als Sollwert vorgegebenen Anfangswert von etwa 840 hPa zur Zeit $t = 0$ innerhalb von etwa 20 bis 25 Minuten bis auf etwa 780 hPa ab. Dieser Druckabfall ist erstens eine Folge der geringeren an die Motorwelle abgegebenen Lei-
10 stung wegen der temperaturbedingten Leistungsverluste im Läufer und zweitens einer kleineren zur Verfügung gestellten Eingangsleistung des Motors. Letzteres ist in Fig. 2 dargestellt, wonach die Eingangsleistung innerhalb der gleichen Zeit von etwa 1150 W auf etwa 1025 W
15 abfällt. Dieser Druckabfall ist eine Folge des höheren Schlupfes: Die Regeleinrichtung stellt hierbei fest, daß weniger Leistung benötigt wird (weil sie irrtümlich annimmt, daß ein Verbraucher weniger die Pumpe belastet), und regelt die Ausgangsfrequenz des Umrichters
20 herab. Diese Ausgangsfrequenz wird zum Nachschlagen in einer P-f-Tabelle benutzt, wobei ein kleinerer Leistungssollwert P_{soll} vorgegeben wird, um gemäß Fig. 3 den Druck (auf der gleichen Kennlinie) konstant zuhalten. Es entsteht somit eine unerwünschte Mittkopplung,
25 durch die die an den Motor abzugebende Leistung noch weiter herabgeregelt wird.

Als eine Ursache für den Druck- und Leistungsabfall ist eine Änderung der Temperatur des Motors und demzufolge
30 seines ohmschen Widerstands erkannt worden. Denn mit zunehmender Betriebsdauer der Pumpe steigt die Temperatur im Ständer und im Läufer an. Demzufolge steigen auch die ohmschen Widerstände von Läufer und Ständer nach der Gleichung

$$(1) \quad R_{s,v} = R_{s,20}(1 + \alpha_{20}\Delta v)$$

Darin sind α_{20} der Temperaturkoeffizient für das Widerstandsmaterial bei einer Umgebungstemperatur von 20°C und
5 Δv die Temperaturänderung. Beispielsweise beträgt der Temperaturkoeffizient von Kupfer 0,00393/°C und von Aluminium 0,00403/°C bei 20°C. Die Ständertemperatur kann Werte im Bereich von 20°C bis 120°C annehmen. Dementsprechend kann die Läufertemperatur Werte von 20°C bis 220°C annehmen,
10 wodurch sich der Läuferwiderstand um etwa 81% ändern kann. Die Verluste im Motor sind mithin im wesentlichen eine Folge der Verluste im Läufer und Ständer und können bis zu etwa 40% betragen. Ein höherer Läuferwiderstand R_r hat auch zur Folge, daß der Schlupf s des Asynchronmotors ansteigt.
15 Für den Schlupf s gilt nachstehende Gleichung:

$$(2) \quad s = \frac{m \cdot (I_r)^2 \cdot R_r}{P_s}$$

Darin ist m die Anzahl der Phasenwicklungen, I_r der Läuferstrom, R_r der Läuferwiderstand und P_s die vom Ständer über
20 den Luftspalt auf den Läufer übertragene Leistung.

Da der Schlupf proportional zum Läuferwiderstand ist, kann er sich mithin ebenfalls um etwa 40% ändern. Bei kleineren Motoren kann der Schlupf etwa 10% betragen; das bedeutet,
25 daß die Temperaturerhöhung eine weitere Änderung der Drehzahl um etwa 4% bei Nennbelastung bewirkt.

Die nachstehende Gleichung (3) stellt angenähert die Eingangsleistung einer durch einen elektrischen Motor
30 angetriebenen Strömungsmaschine (unter der Voraussetzung, daß der Wirkungsgrad konstant ist) dar:

$$(3) \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3} = \frac{((1-s_1) \cdot f_1)^3}{((1-s_2) \cdot f_2)^3}$$

Darin bezeichnen P_1 , n_1 , s_1 und f_1 jeweils die Größen Leistung, Drehzahl, Schlupf und Frequenz in einem ersten
5 und P_2 , n_2 , s_2 und f_2 diese Größen in einem zweiten Arbeitspunkt.

Bei einer durch einen Elektromotor angetriebenen Pumpe müßte sich die Eingangsleistung, um eine Drehzahlabnahme um
10 4% auszugleichen, gemäß Gleichung (3) um $((1,04)^3 - 1)$, das heißt 12,5%, erhöhen. Wenn mithin die Ausgangsleistung des Motors aufgrund einer Temperaturerhöhung um 12,5% abnimmt, hat dies auch einen erheblichen Einfluß auf den Druck der Pumpe, da die Leistungs-Frequenz-Kennlinien (P-f-Kenn-
15 linien) bei relativ weit auseinanderliegenden Drucksollwerten H_{soll} gemäß Fig. 3 sehr dicht beieinanderliegen.

Nachstehend wird anhand von Fig. 4 das erste Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens näher erläutert,
20 bei dem der Einfluß von Änderungen der Temperatur auf den Druck und die Fördermenge vermieden wird.

Nach Fig. 4 enthält eine Regeleinrichtung 1 einen Regler 2 mit einem Vergleicher 3, einem Summierglied 4 und einem
25 Regelglied 5. Der Vergleicher 3 und das Summierglied 4 liegen auf der Eingangsseite des Regelglieds 5 hintereinander. Das Regelglied 5 enthält einen Regelverstärker, der eine negative Rückführung (Gegenkopplung) aufweist, die das Übertragungsverhalten des Regelglieds bestimmt, so daß es
30 beispielsweise als PI-Glied wirkt. Dem Regler 2 folgt ein Stellglied 6, das einen frequenzgesteuerten Umrichter enthält, der seinerseits einen mehrphasigen Gleichrichter zur Gleichrichtung einer Wechselspannung, einen Gleichstromzwischenkreis und einen Wechselrichter enthält. Der
35 Gleichrichter bewirkt die Gleichrichtung einer Wechselspan-

nung, beispielsweise der üblichen Netzspannung, in eine Gleichspannung, die der Wechselrichter in eine Wechselspannung mit einer Frequenz f umformt, die durch das Ausgangssignal des Reglers 2 bestimmt wird. Die Ausgangswechselspannung des Wechselrichters beziehungsweise des Stellglieds bildet die Betriebsspannung U für den elektrischen Motor eines Pumpenaggregats 7, der eine Pumpe in dem Pumpenaggregat 7 antreibt, so daß sie mit einer vorbestimmten Fördergröße, einem Druck H oder Durchfluß Q , arbeitet.

10 Um die Fördergröße bei der Regelung nicht unmittelbar mittels eines Druck- bzw. Durchflußfühlers messen zu müssen, wird als Maß für ihren Istwert die Eingangsleistung des Motors der Pumpe in dem Pumpenaggregat 7 oder die Ausgangsleistung des Stellglieds 6 ermittelt, und zwar

15 durch Messung der Spannung U und des Stroms I zwischen Stellglied und Pumpenaggregat 7. Aus diesen Meßwerten wird dann in einem Leistungsrechenglied 8 der Leistungsistwert P_{ist} berechnet, genauer gesagt, die Wirkleistung aus dem Produkt von Spannung U und Strom I bei Kenntnis des Leistungsfaktors $\cos \varphi$. Die Wirkleistung könnte aber auch unmittelbar durch Messung der Gleichspannung und des Gleichstroms im Gleichstromzwischenkreis ermittelt werden.

Der Leistungsistwert P_{ist} wird dem einen Eingang des

25 Vergleichers 3 zugeführt und dort mit dem dem anderen Eingang des Vergleichers 3 zugeführten Leistungssollwert P_{soll} verglichen, um in Abhängigkeit von einer Regelabweichung P_w durch entsprechende Änderung der Frequenz f auf der Ausgangsseite des Umrichters im Stellglied 6 die

30 Leistung auf der Eingangsseite des Pumpenaggregats 7 so lange nachzuregeln, bis die Regelabweichung P_w zumindest annähernd ausgeglichen ist. Da als Steuergröße für das Stellglied 6 die gewünschte Frequenz f der Betriebsspannung des Motors im Pumpenaggregat 7 anstelle der erforderlichen

Eingangsleistung benutzt wird, um den gewünschten Druck H der Pumpe zu erzielen und aufrechtzuerhalten, ist in einem Speicher 9 eine empirisch ermittelte Tabelle des Zusammenhangs zwischen der Eingangsleistung des Pumpenaggregats 7 und der Frequenz f für verschiedene Drucksollwerte H_{soll} als Parameter gemäß den in Fig. 3 dargestellten Kennlinien gespeichert. Aus der gespeicherten P - f -Tabelle wird dann in Abhängigkeit von dem am Ausgang des Reglers 2 auftretenden Frequenzsteuersignal f und dem gewünschten Drucksollwert H_{soll} , die beide dem Speicher 9 zur Adressierung zugeführt werden, der dazugehörige Leistungssollwert P_{soll} aufgerufen und dem Vergleicher 3 zugeführt. Da jedoch die Fördergröße des Pumpenaggregats beziehungsweise der Pumpe wegen der im Betrieb erfolgenden Erwärmung des Motors und der dadurch bewirkten Änderung seines Widerstands im Läufer und Ständer auch bei gleichbleibender Eingangsleistung des Motors unterschiedlich sein kann, wird erfindungsgemäß eine von der Temperatur des Motors abhängige Kompensationsgröße ΔP durch das Summierglied 4 der Regelabweichung P_w überlagert (addiert oder subtrahiert). Zur Ermittlung der Kompensationsgröße ΔP ist eine Funktionseinheit 10 vorgesehen, die in einem Speicher eine zu jeder Temperatur T des Motors gehörige Kompensationsgröße ΔP in Form einer empirisch erstellten Tabelle enthält, aus der in Abhängigkeit von der ermittelten Temperatur T die zugehörige Kompensationsgröße ΔP abgerufen wird. Die Temperatur T kann entweder direkt im Motor gemessen oder, wie im vorliegenden Beispiel, durch Messung des Eingangsstroms I des Pumpenaggregats und Bildung des Integrals über das Quadrat des Stroms I nach der Zeit ermittelt wird. Die Kompensation mittels der Kompensationsgröße ΔP kann entweder kontinuierlich oder,

wenn der Elektromotor seine Betriebstemperatur erreicht hat, durchgeführt werden.

Die Kompensationsgröße ΔP kann dem Regler 2 auch an anderer
5 Stelle zugeführt werden, beispielsweise vor einem der
Eingänge des Vergleichers 3.

Fig. 5 stellt ein Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels dar, bei dem empirisch ermittelte, zusammen-
10 gehörige Werte der Eingangsleistung P des Pumpenmotors und
von Kompensationsgrößen in Form von zu jedem Drucksollwert
 H_{soll} gehöriger Druckänderungen ΔH in einem Speicher 11
abgelegt sind. Aus dem Speicher 11 wird dann für den
betreffenden Drucksollwert H_{soll} und den jeweils durch das
15 Leistungsrechenglied 8 ermittelten Leistungswert P_{ist}
der zugehörige Kompensationswert ΔH abgerufen und über
ein Übertragungsglied 12 mit einer vorbestimmten Übertra-
gungsfunktion als zeitabhängige Kompensationsgröße $\Delta H(t)$
dem in diesem Falle vor dem Speicher 9 liegenden Summier-
20 glied 4 zugeführt, das die zeitabhängige Kompensationsgröße
 $\Delta H(t)$ zum jeweiligen Drucksollwert H_{soll} addiert und in
Abhängigkeit von dem auf diese Weise korrigierten Druck-
sollwert und dem Frequenzsteuersignal f den zugehörigen
kompensierten Leistungssollwert P_{soll} abrufen. Die Kompensa-
25 tionsgröße ΔH ist in diesem Falle der Druckabfall, der
gemessen werden kann, wenn der Läufer und die Ständerwick-
lungen des die Pumpe antreibenden Motors im Pumpenaggregat
7 ihre Betriebstemperatur erreicht haben. Dieser Druckab-
fall hängt von der Leistung ab, mit der die Pumpe betrieben
30 wird. Deshalb wird für jede gemessene Leistung der zugehö-
rige Druckabfall ΔH als ΔH - P -Tabelle empirisch ermittelt.
Wie Fig. 1 zeigt, beträgt der Druckabfall etwa 60 hPa nach
Ablauf von ungefähr 20 Minuten bei einem vorgegebenen Druck

H_{soll} von 840 hPa. Durch Verwendung des Drucksollwerts H_{soll} und des Leistungsistwerts P_{ist} als Adresse für den Speicher 11 erhält man dann als Kompensationsgröße ΔH den Wert 60 hPa, der zum Drucksollwert H_{soll} addiert wird. Aufgrund des
5 zwischengeschalteten Übertragungsglieds 12 wird die Kompensationsgröße ΔH jedoch nicht sofort in voller Größe addiert, sondern linear ansteigend, bis die Übertragungsfunktion des Übertragungsglieds 12 in der bis zum Erreichen der Betriebstemperatur des Motors erforderlichen Zeit den
10 vollen Übertragungsbeiwert von 1 im Knick der Übertragungsfunktion erreicht hat. Die Steigung der Übertragungsfunktion des Übertragungsglieds 12 bis zum Knick ist hierbei so gewählt, daß sie der Steigung $\Delta H/\Delta t$ in Fig. 1, hier dem Gefälle, des Drucks bis zum Erreichen der Betriebstemperatur des Motors entspricht.
15

Im übrigen entspricht das Verfahren nach Fig. 5 dem Verfahren nach Fig. 4.

20 Während bei den beiden Ausführungsbeispielen nach den Fig. 4 und 5 die Leistung unter Anwendung einer P-f-Tabelle im Speicher 9 geregelt wird, ist es auch möglich, die Leistung anhand einer P-n-Tabelle zu regeln, in der n die Drehzahl des Motors beziehungsweise des Pumpenaggregats 7 ist.

25 Die Regelung nach einer P-n-Tabelle ist genauer als nach einer P-f-Tabelle, wie sich aus den nachstehend angegebenen Gleichungen (4), (5) und (6) ergibt, in denen die Indizes "1" und "2" für verschiedene Arbeitspunkte gelten. So
30 beschreibt die Gleichung (4) das Verhältnis zweier Durchflüsse Q_1 und Q_2 , die Gleichung (5) das Verhältnis zweier Drücke H_1 und H_2 und die Gleichung (6) das Verhältnis zweier Leistungen P_1 und P_2 in Abhängigkeit von dem Ver-

hältnis zweier Drehzahlen n_1 und n_2 beziehungsweise zweier Betriebsfrequenzen f_1 und f_2 in den beiden Arbeitspunkten:

$$(4) \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{f_1}{f_2}$$

$$5 \quad (5) \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \approx \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2$$

$$(6) \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \approx \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^3$$

Man sieht, daß die Frequenz f nur angenähert als Maß für den Durchfluß, den Druck oder die Eingangsleistung benutzt werden kann. Aus Gleichung (3) ergibt sich, daß die Näherung nur für den Fall gilt, daß der Schlupf in beiden Arbeitspunkten jeweils gleich ist. Wenn daher eine Regelung angewandt wird, bei der die Drehzahl n des Motors gemessen oder ein Näherungswert der Drehzahl anstelle der Frequenzsteuergröße f des Motors benutzt wird, ist eine genauere Regelung des Drucks oder Durchflusses möglich, weil die Steuerfrequenz f aufgrund der Temperaturänderungseinflüsse nicht exakt der Fördergröße (Druck oder Durchfluß) des Pumpenaggregats entspricht. Da sich der Schlupf s eines Elektromotors mit dessen Drehmoment und Temperatur (siehe Gleichung (2)) ändert, kann bei Kenntnis der Frequenzsteuergröße f ein hinreichend genauer Näherungswert n_a der Drehzahl ermittelt werden.

Fig. 6 zeigt daher ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Blockschaltbilds, bei dem im Speicher 9 eine Tabelle zusammengehöriger, empirisch für jeden Drucksollwert H_{soll} ermittelter Werte von Leistung P und Drehzahl n gespeichert ist. Die Drehzahl kann mittels eines Drehzahlfühlers unmittelbar an der Welle des Pumpenaggregats 7 oder mittels eines Magnet-

-15-

feldfühlers im Ständer gemessen werden. Bei dem in Fig. 6 dargestellten Beispiel wird jedoch ein Näherungswert n_a indirekt ermittelt, und zwar durch ein Drehzahlrechenglied 14 nach folgender Gleichung:

5

$$(7) \quad n_a = \frac{60 \cdot (1 - s_a) \cdot f}{p}$$

Darin ist p die Polzahl und s_a ein Näherungswert für den Schlupf des Motors. Um den Näherungswert s_a des Schlupfes zu berechnen, werden die Spannung U und der Strom I auf der Eingangsseite des Motors gemessen und zusammen mit der Frequenzsteuergröße f dem Drehzahlrechenglied 14 zugeführt. Das Drehzahlrechenglied 14 errechnet aus diesen Größen, nach Ermittlung einer temperaturabhängigen Kompensationsgröße $\Delta R = R_{s,20} \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$ des Läuferwiderstands R_r nach Gleichung (1), aus dem, zusammen mit den Eisen- und Kupferverlusten, nach Gleichung (2) der Näherungswert s_a des Schlupfes berechnet wird, den Näherungswert n_a der Drehzahl. Mittels des Drehzahl Näherungswertes n_a wird dann wiederum aus der empirisch ermittelten, im Speicher 9 gespeicherten P-n-Tabelle der zum jeweiligen Drucksollwert H_{soll} gehörige Leistungssollwert P_{soll} abgerufen.

Im übrigen ist das Verfahren wiederum das gleiche wie bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen.

Das in Fig. 7 dargestellte Blockschaltbild veranschaulicht eine Abwandlung des Verfahrens nach Fig. 6, bei dem die Drehzahl n des Pumpenaggregats direkt gemessen und dem Speicher 9 zugeführt wird. In diesem Fall entfällt das Berechnen oder Messen der Temperatur des Motors, und die Regelung der Fördergröße ist genauer.

Wenn anstelle eines Asynchronmotors ein Synchronmotor für den Antrieb der Pumpe im Pumpenaggregat 7 verwendet wird, kann eine Temperaturkompensation entfallen, weil bei einem Synchronmotor kein Schlupf auftritt. Dementsprechend kann das Drehzahlrechenglied 14 entfallen und die Frequenzsteuergröße f dem Speicher 9 unmittelbar zugeführt werden.

Bei allen Ausführungsbeispielen wird die Wirkleistung am Eingang des Motors beziehungsweise Pumpenaggregats 7 als Regelgröße herangezogen. Da das Drehmoment $M = P/n$ ist, kann auch das Drehmoment M anstelle der Wirkleistung P verwendet werden. In beiden Fällen ist die Regelung und Kompensation die gleiche.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Fördergröße (H ; Q) einer Pumpe, die durch einen mit Wechselstrom veränderbarer Frequenz, insbesondere über einen Umrichter, betriebenen elektrischen Motor angetrieben wird, wobei als Istwert für die Fördergröße die Eingangsleistung (P) des Motors gemessen und durch Vergleich mit einem Sollwert (P_{soll}) geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Änderung der Temperatur (T) im Motor eine entsprechende Kompensationsgröße (ΔP ; ΔH ; ΔR) bei der Regelung im Sinne einer Korrektur der Eingangsleistung (P) berücksichtigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kompensationsgröße (ΔP) aus einer gespeicherten Tabelle zusammengehöriger Eingangsleistungsänderungs- und Temperaturwerte des Motors in Abhängigkeit von der Temperatur des Motors abgerufen wird (Fig. 4).
3. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß eine Tabelle empirisch erstellt und gespeichert wird,

die die Druckänderung (ΔH) der Pumpe bei verschiedenen Eingangsleistungen (P) des Motors zum Zeitpunkt des Erreichens der Betriebstemperatur des Motors enthält, und daß aus der Tabelle eine Druckänderung in Abhängigkeit vom Istwert (P_{ist}) der Eingangsleistung (P) als Kompensationsgröße bei der Regelung abgerufen wird (Figur 5).

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Kompensationsgröße (ΔR) und einer Frequenzsteuergröße (f) ein angenäherter Drehzahl-Istwert (n_a) berechnet wird, der zusammen mit einem Drucksollwert (H_{soll}) zum Abrufen eines zugehörigen Eingangsleistungsollwerts (P_{soll}) aus einer gespeicherten, empirisch erstellten Tabelle zusammengehöriger Werte von Eingangsleistung (P) und Drehzahl (n) des Motors benutzt wird (Fig. 6).
5. Verfahren zur Regelung einer Fördergröße (H ; Q) einer Pumpe, die durch einen mit Wechselstrom veränderbarer Frequenz, insbesondere über einen Umrichter, betriebenen elektrischen Motor angetrieben wird, wobei als Istwert für die Fördergröße die Eingangsleistung (P) des Motors gemessen und durch Vergleich mit einem Sollwert (P_{soll}) geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zusammengehörige Werte der Eingangsleistung (P) und der Drehzahl (n) des Motors bei vorgegebenem Druck-Sollwert (H_{soll}) empirisch ermittelt und als Tabelle gespeichert werden und daß während des Betriebs ein zu einer gemessenen oder angenähert berechneten Drehzahl (n ; n_a) des Motors gehöriger Wert der Eingangsleistung (P) als Sollwert (P_{soll}) zur Regelung der Eingangsleistung aus der Tabelle abgerufen wird.

Zusammenfassung

Bei einem bekannten Verfahren zur Regelung einer Fördergröße (H ; Q) einer Pumpe, die durch einen mit Wechselstrom veränderbarer Frequenz, insbesondere über einen Umrichter, betriebenen elektrischen Motor angetrieben wird, wird als

5 Istwert für die Fördergröße die Eingangsleistung (P) des Motors gemessen und durch Vergleich mit einem Sollwert (P_{Soll}) geregelt. Um den Einfluß der Temperatur des Motors auf die Fördergröße bei konstanter Eingangsleistung zu vermeiden, wird erfindungsgemäß bei einer Änderung der

10 Temperatur (T) im Motor eine entsprechende Kompensationsgröße (ΔP ; ΔH) bei der Regelung im Sinne einer Korrektur der Eingangsleistung (P) berücksichtigt.

Eine Alternative zu dieser Lösung besteht darin, daß

15 zusammengehörige Werte der Eingangsleistung (P) und der Drehzahl (n) des Motors bei vorgegebenem Druck-Sollwert (H_{Soll}) empirisch ermittelt und als Tabelle gespeichert werden und daß während des Betriebs ein zu einer gemessenen oder angenähert berechneten Drehzahl (n ; n_a) des Motors

20 gehöriger Wert der Eingangsleistung (P) als Sollwert (P_{Soll}) zur Regelung der Eingangsleistung aus der Tabelle abgerufen wird.

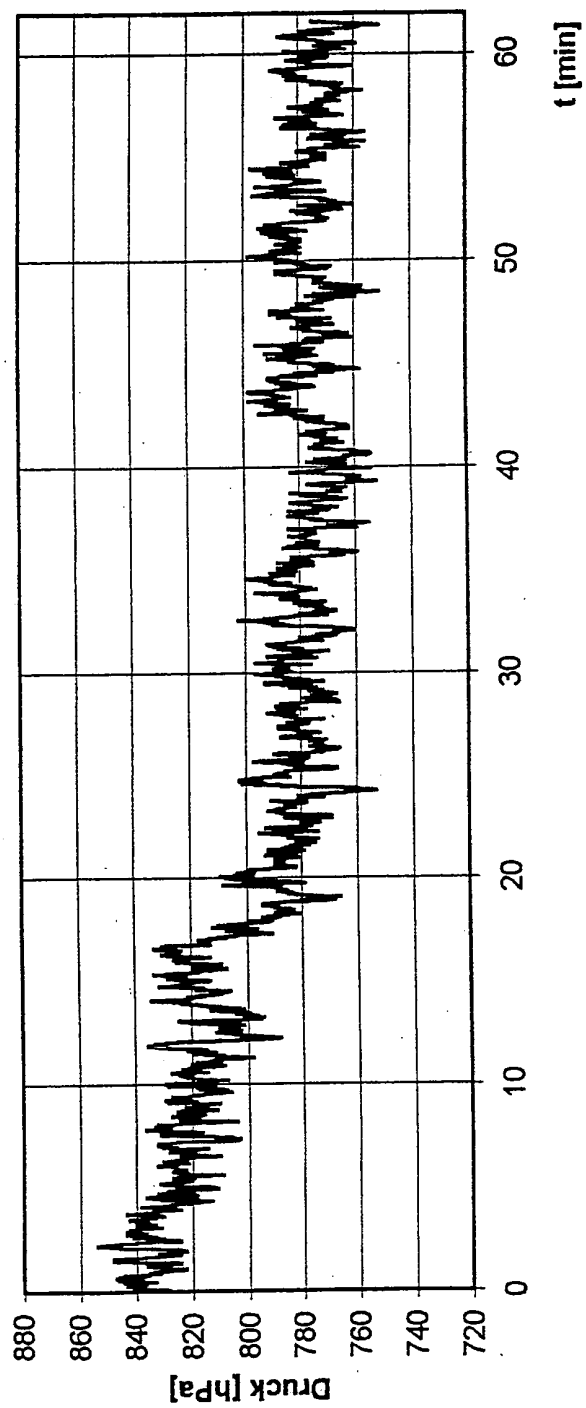


Fig.1

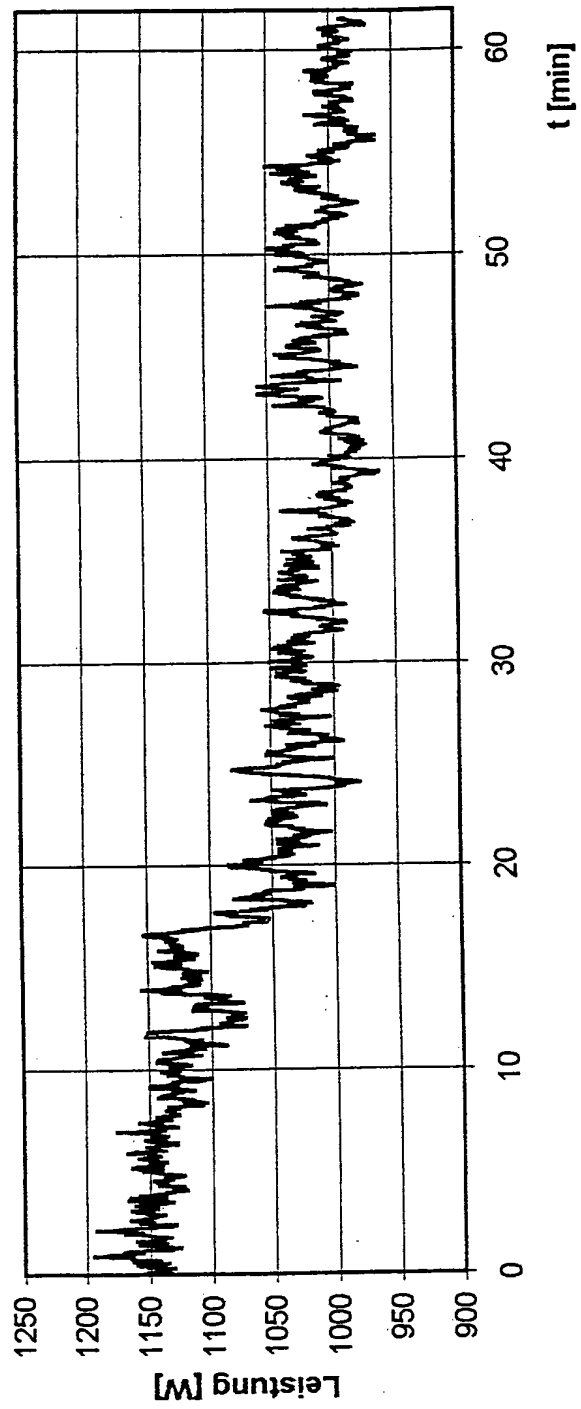


Fig.2

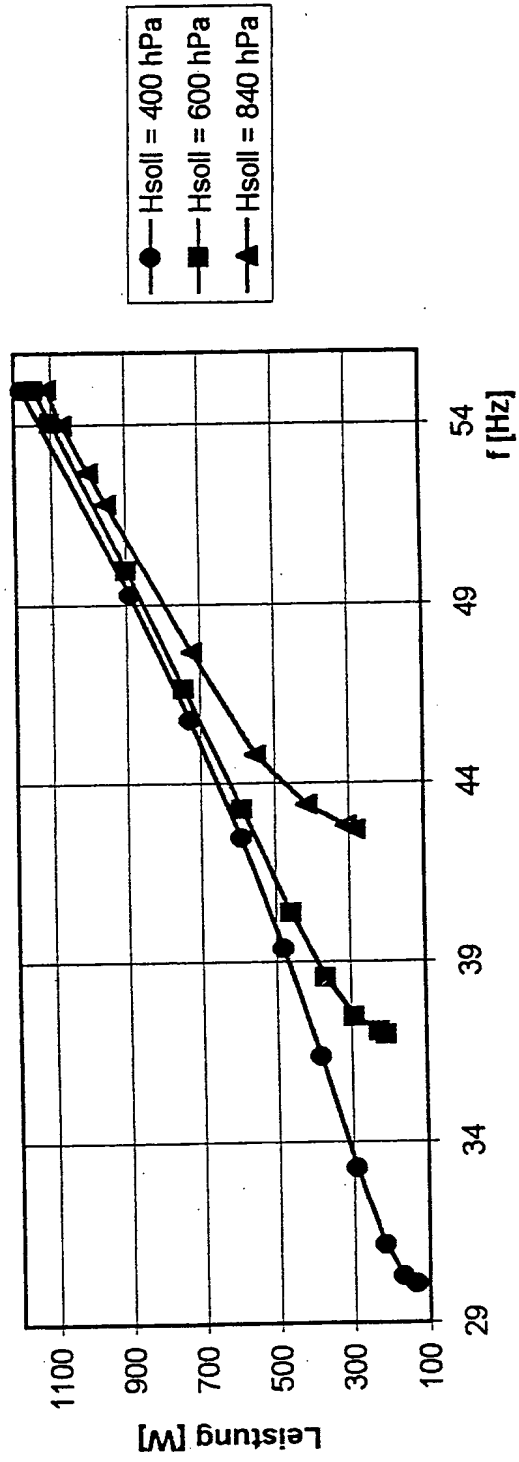


Fig.3

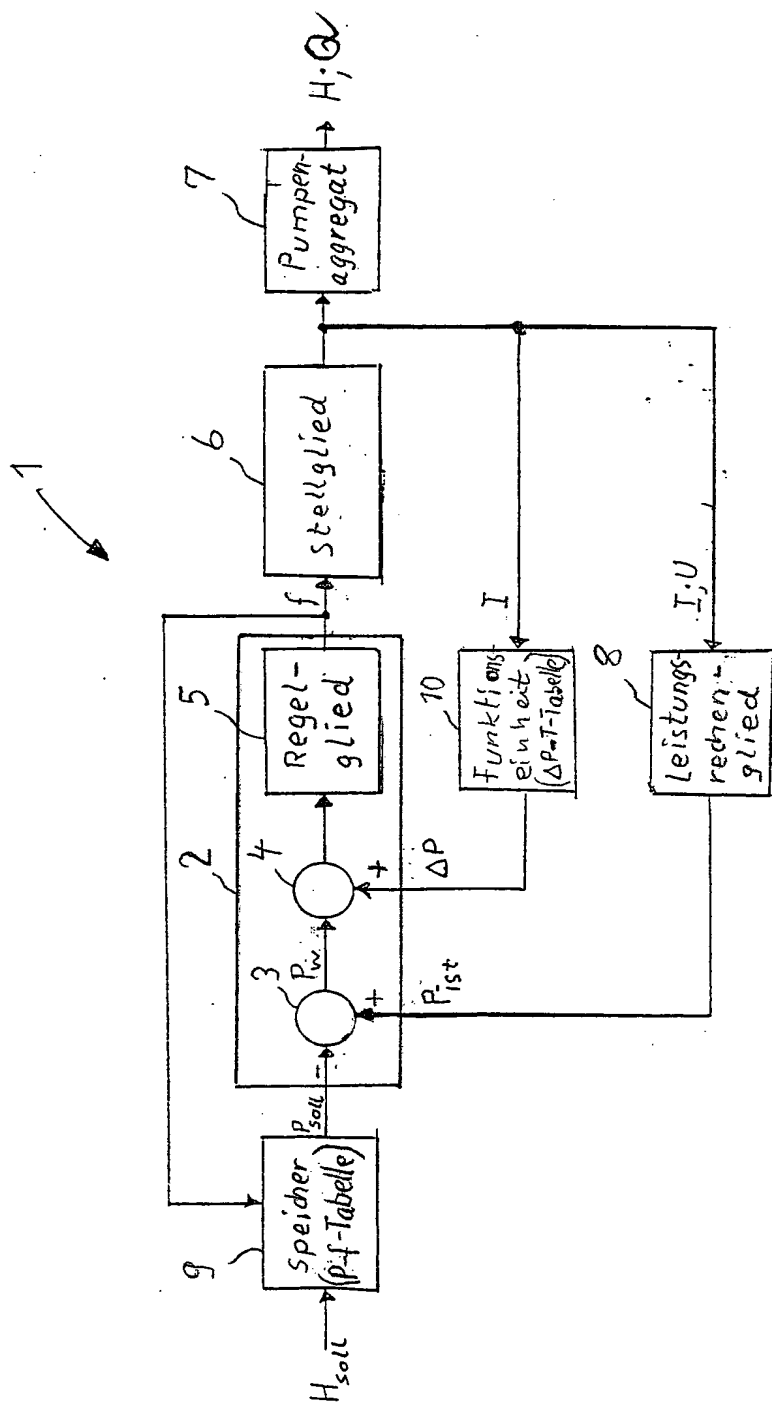


Fig. 4

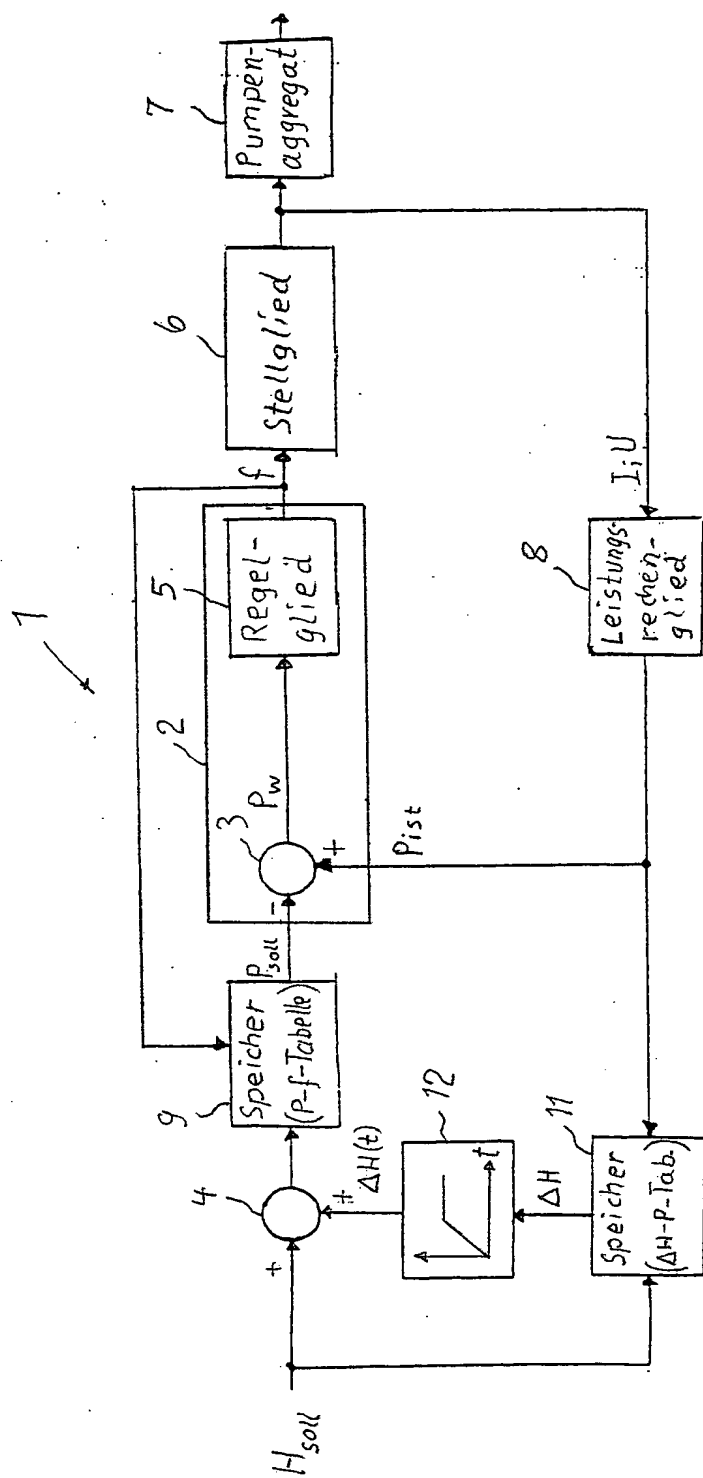


Fig. 5

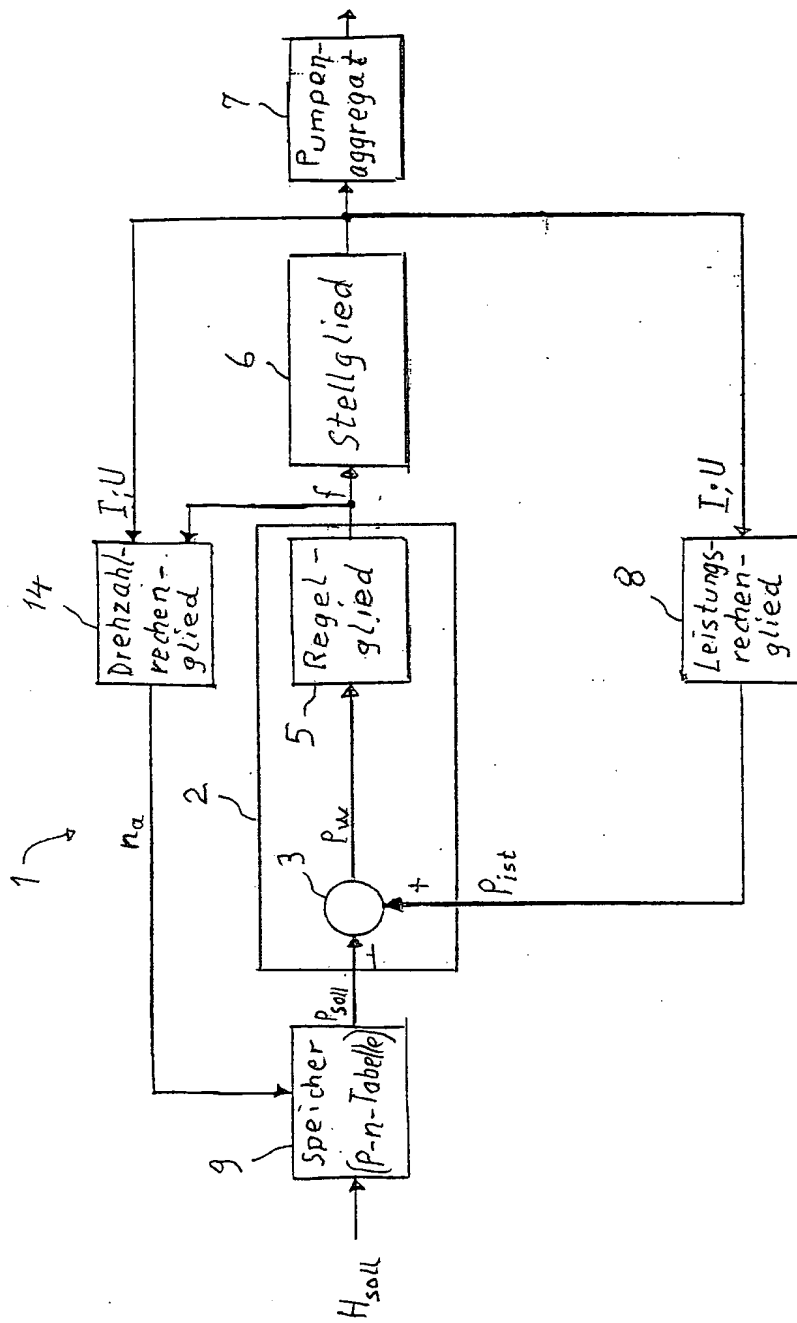


Fig.6

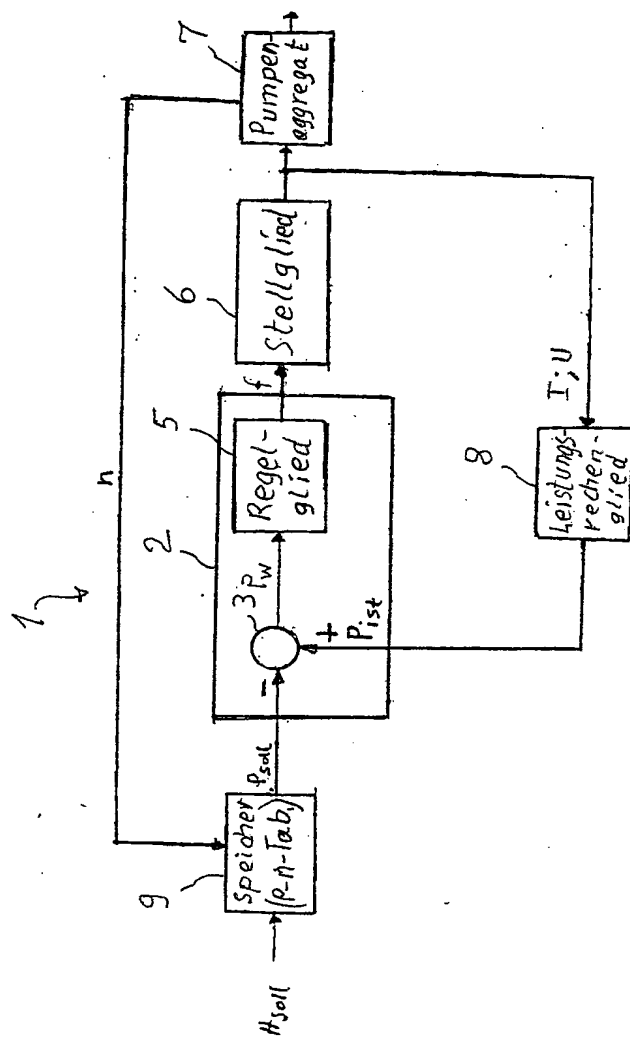


Fig. 7